第38卷 第5期
2021年9月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 38 No. 5
Sep. 2021

不同类型盐分对盐爪爪种子萌发和幼苗生长的影响

雷春英[1,2]， 吉小敏[1,2]， 彭钼植[1,2]， 姜 黎[3]

（1. 新疆林科院造林治沙研究所，新疆 乌鲁木齐 830063；2. 新疆精河荒漠生态系统国家定位观测研究站，新疆 精河 833300；3. 中国科学院新疆生态与地理研究所，荒漠与绿洲生态国家重点实验室，新疆 乌鲁木齐 830011）

摘 要：采用培养皿法研究不同类型钠盐胁迫对荒漠植物盐爪爪种子萌发率、萌发指数、幼苗芽长和根长，分析盐爪爪种子萌发与幼苗生长适应不同类型盐碱地的机制，为种植盐爪爪生态修复不同类型盐碱地提供了科学依据。结果表明：（1）NaCl、Na_2SO_4、$NaHCO_3$、Na_2CO_3均显著抑制盐爪爪种子的萌发率和萌发指数。（2）回归方程分析盐爪爪萌发期的耐NaCl、Na_2SO_4、$NaHCO_3$、Na_2CO_3临界值分别为325 mmol·L^{-1}、267 mmol·L^{-1}、245 mmol·L^{-1}和166 mmol·L^{-1}，其极限值分别是671 mmol·L^{-1}、580 mmol·L^{-1}、569 mmol·L^{-1}和389 mmol·L^{-1}，相对于中性盐，盐爪爪种子萌发时对碱性盐更敏感。（3）NaCl、Na_2SO_4、$NaHCO_3$、Na_2CO_3均显著抑制盐爪爪幼苗芽和根的生长，盐爪爪种子萌发和幼苗生长对这4种钠盐的响应差异显著；相对于幼苗芽，幼苗根的响应更为敏感，可将根长作为评价盐爪爪耐盐性的参数，碱性盐毒害强于中性盐；根据盐分对盐爪爪种子萌发和幼苗生长的毒害性顺序依次为：NaCl < Na_2SO_4 < $NaHCO_3$ < Na_2CO_3。

关键词：盐爪爪（*Kalidium foliatum*）；中性盐；碱性盐；种子萌发

据统计全世界盐碱地面积约为9.54×10^8 hm^2，约占陆地总面积的十分之一；而我国盐碱地面积为9.9×10^7 hm^2，约占全世界盐碱地面积的十分之一[1-2]。当前，如何合理开发与利用盐碱地已成为当今干旱区农牧业发展面临的重要问题之一。现有研究表明，种植盐生植物可显著降低盐碱地的盐分含量而达到改良盐碱地的效果[3-5]。因此，合理开发和利用盐碱地，利用耐盐植物资源发展盐土农业显得非常迫切。

盐爪爪（*Kalidium foliatum*）作为干旱区很重要的盐生植物，属于多年生、藜科盐爪爪属，具有防风固沙的生态作用[6]，主要分布在新疆、青海和甘肃等干旱区盐碱土，盐化沙地、盐化荒漠和盐湖边等立地条件下。同时盐爪爪可作为含盐饲草，作为干旱区主要的家畜饲草之一，其种子作为优质饲料，供牲畜饲用[7-8]。盐爪爪作为干旱区本土植物可生长在盐碱地上，同时需要从盐碱土壤中吸收大量的盐分离子维持生长，从而降低土壤含盐量，使得土壤理化性质得到改善和土壤有机质增加[9-12]。因此，在盐碱地开展盐爪爪种植，一方面使盐碱地得到改良，另一方面收获大量的植株可提供饲草，取得生态效益和经济效益。

植物在不同生长阶段对盐碱环境的耐性程度不同，但植物种子萌发和幼苗生长过程中对盐碱胁迫的响应均非常敏感。目前，盐爪爪种子萌发对盐胁迫的响应已有很多报道，多数研究是对中性盐胁迫的响应[13-17]，而关于碱性盐胁迫方面的研究相对较少。曾幼玲等[13]研究结果表明：低浓度的NaCl能明显促进盐爪爪的种子萌发，且在该盐分浓度下，盐爪爪萌发最高，然而无盐或过高的盐分均能对其种子萌发产生不利的影响。当前鲜有研究关于碱性盐对盐爪爪种子萌发和幼苗生长的影响。因此，本文重点分析比较不同形态钠盐对盐爪爪种子萌发与幼苗生长的影响，旨在探索不同类型盐胁迫对盐生植物种子萌发和幼苗生长的影响，以期为在盐碱地种植牧草盐爪爪提供科学依据。

收稿日期：2020-12-07； **修订日期：**2021-06-24
基金项目：自治区公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目（KY2020024）；自治区林业发展补助资金项目（XJLYKJ-2021-20）；中国科学院西部之光"一带一路"团队项目（2019-YDYLTD-001）共同资助
作者简介：雷春英（1979-），女，硕士，工程师，现主要从事荒漠化防治研究. E-mail: ceibar@126.com
通讯作者：姜黎. E-mail: jiangli1015@126.com

1　材料与方法

1.1　盐爪爪种子收集

于2019年10月底，在克拉玛依大农业盐生植物园采集完全成熟的盐爪爪种子。室温放置，待晾干，清理杂质，整理干净后装袋备用。

1.2　萌发试验

挑选大小均匀、饱满的盐爪爪种子，放置于铺2张滤纸的培养皿（直径长5 cm）中，每皿放入25粒种子。选择氯化钠（NaCl）和硫酸钠（Na_2SO_4）（中性钠）、碳酸氢钠（$NaHCO_3$）和碳酸钠（Na_2CO_3）（碱性钠盐）为处理盐分，选取100、200、300、400、600、800 mmol·L^{-1}为盐分处理浓度，对照（CK）为蒸馏水，用上述不同浓度的盐分溶液至滤纸饱和，设置4次重复，放置于光照/黑暗12 h/12 h，昼25 ℃/夜10 ℃的培养箱中培养。每天统计种子萌发个数，以胚根露出种皮为萌发标准，14 d计算最终萌发率，测量芽长和根长。

1.3　萌发参数和芽根长测定

积累萌发率（GR）= 每天统计萌发种子数/供试种子数×100%；最终萌发率（FGR）= 所有萌发种子数/供试种子数×100%；萌发指数（GI）= Σ（Gt/Dt）（Gt指在时间t日内的萌发数，Dt为相应的萌发天数）。

1.4　数据分析

使用SPSS 16.0统计分析软件进行单因素和双因素分析，采用Ducan多重比较且P<0.05为达到显著水平。采用SigmaPlot 12.5作图。

2　结果分析

2.1　不同类型盐分对盐爪爪种子萌发特性的影响

盐爪爪种子最终萌发率和萌发指数均受到盐分浓度和类型及相互作用的显著影响（表1），且随着NaCl、Na_2SO_4、$NaHCO_3$、Na_2CO_3浓度增加，盐爪爪种子的累积萌发率、萌发率和萌发指数均显著降低（图1和表1）。

在较低浓度（100 mmol·L^{-1} Na_2CO_3），盐爪爪种子萌发率和萌发指数显著降低，分别降低了24.13%和33.01%，但同样浓度的$NaHCO_3$、NaCl和Na_2SO_4并未显著降低萌发率；200 mmol·L^{-1} $NaHCO_3$和Na_2SO_4，盐爪爪种子萌发率显著下降，分别下降了27.59%和32.18%，然而200 mmol·L^{-1}NaCl并未显著降低萌发率；即在300 mmol·L^{-1}NaCl、Na_2SO_4、$NaHCO_3$、Na_2CO_3，盐爪爪种子的萌发率分别为60%、43%、39%和16%，表明了盐爪爪耐NaCl性最高。

表1　盐爪爪萌发率、萌发指数、芽长和根长的双因素分析结果

Tab. 1　Two ANOVA of germination percent, germination index, shoot length and root length in seeds of *Kalidium foliatum*

参数	盐分类型	盐浓度	盐分类型×盐浓度
萌发率	81.16***	858.07***	11.19***
萌发指数	122.15***	1422.00***	15.83***
芽长	447.84***	224.51***	16.75***
根长	776.25***	259.07***	28.01***

注：*表示P < 0.05，**表示P < 0.01，***表示P < 0.001。

2.2　萌发率与相对应盐浓度之间的回归分析

通过分析盐爪爪种子的萌发率与不同类型盐分浓度之间的回归分析，分析NaCl、Na_2SO_4、$NaHCO_3$、Na_2CO_3对盐爪爪种子萌发的抑制程度。结果表明：随着NaCl、Na_2SO_4、$NaHCO_3$、Na_2CO_3浓度的升高，盐爪爪的萌发率均降低，且萌发率与NaCl、Na_2SO_4、$NaHCO_3$、Na_2CO_3浓度均呈显著负相关（图2）。种子萌发时的耐盐临界值、极限值分别是指种子的萌发率为50%、0%时所对应的盐分浓度。根据回归方程计算得出，盐爪爪种子对NaCl、Na_2SO_4、$NaHCO_3$、Na_2CO_3在萌发期的耐盐临界值分别为325 mmol·L^{-1}、267 mmol·L^{-1}、245 mmol·L^{-1}和166 mmol·L^{-1}，其极限值分别为671 mmol·L^{-1}、580 mmol·L^{-1}、569 mmol·L^{-1}和389 mmol·L^{-1}。根据不同盐分对种子萌发期的耐盐临界值和极限值大小表明，盐爪爪耐盐性依次为：Na_2CO_3 < $NaHCO_3$ < Na_2SO_4 < NaCl。

2.3　不同类型盐分对盐爪爪幼苗芽长、根长的影响

盐爪爪种子幼苗芽长和根长均受到盐分浓度和类型及相互作用的显著影响（表2，图3）。100 mmol·L^{-1}NaCl显著促进盐爪爪幼苗芽和根的生长；100 mmol·L^{-1} Na_2SO_4、$NaHCO_3$和Na_2CO_3均显著抑制了盐爪爪幼苗芽和根的生长，分别下降了21.60%、44.62%、50.21%和14.09%%、60.71%、68.84%；在NaCl浓度为200 mmol·L^{-1}时，盐爪爪幼苗芽长和根长均未显著降低；但浓度>200 mmol·L^{-1}时，NaCl显著降低了盐爪爪幼苗芽长和根长，由此说明低浓度的NaCl促进盐爪爪幼苗的生长，高浓度的NaCl抑制盐爪爪幼苗的生长。当NaCl、Na_2SO_4、$NaHCO_3$、Na_2CO_3浓度为300 mmol·L^{-1}时，盐爪爪幼苗的芽长和根长

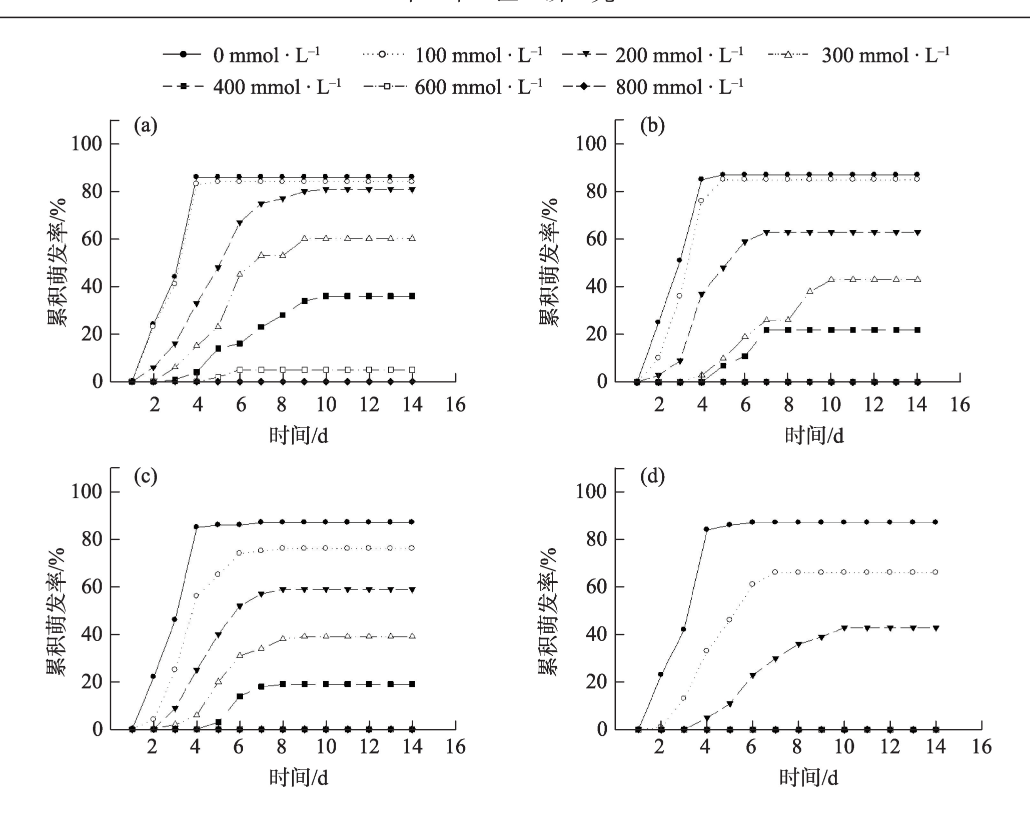


图1　NaCl、Na_2SO_4、$NaHCO_3$、Na_2CO_3对盐爪爪种子累积萌发率的影响

Fig. 1　Effects of NaCl, Na_2SO_4, $NaHCO_3$, Na_2CO_3 on accumulative germination percent of *Kalidium foliatum* seeds

表2　NaCl、Na_2SO_4、$NaHCO_3$、Na_2CO_3对盐爪爪种子最终萌发率和萌发指数的影响

Tab. 2　Effects of NaCl、Na_2SO_4、$NaHCO_3$、Na_2CO_3 on final germination percentage and germination index of *Kalidium foliatum*

盐浓度/(mmol·L⁻¹)	最终萌发率/%				萌发指数			
	NaCl	Na_2SO_4	$NaHCO_3$	Na_2CO_3	NaCl	Na_2SO_4	$NaHCO_3$	Na_2CO_3
0	86.0±1.2a	87.0±1.0a	87.0±1.0a	87.0±1.0a	72.4±1.1a	73.6±0.9a	72.9±0.7a	72.7±0.6a
100	84.0±1.0a	85.0±1.9a	76.0±2.3a	66.0±2.0b	70.5±0.3a	69.4±1.6a	59.3±1.3b	48.7±0.9b
200	81.0±0.0a	63.0±3.0b	59.0±1.0b	43.0±5.0c	57.6±0.9a	47.1±2.0b	42.6±0.6c	25.6±2.4c
300	60.0±3.2b	43.0±6.0c	39.0±2.5c	16.0±2.8d	39.6±2.1b	24.1±3.7c	26.1±1.8d	8.7.0±1.4d
400	36.0±5.9c	22.0±1.2d	19.0±1.9d	–	21.4±4.3c	13.9±0.4d	12.0±1.4e	–
600	5.0±3.0d	–	–	–	3.4±2.0d	–	–	–
800	–	–	–	–	–	–	–	–

注:不同的小写字母表示不同浓度之间在P<0.05水平上差异显著;“–”表示未萌发。

均显著下降,幼苗芽长分别下降了30.49%、54.40%、73.08%和82.11%,根长分别下降了47.36%、75.35%、80.01%和86.23%,4种钠盐对根的毒害均强于对芽的毒害,且不同盐分对幼苗生长的抑制程度依次为:NaCl < Na_2SO_4 < $NaHCO_3$ < Na_2CO_3。

3　讨论

目前,有关盐爪爪的研究主要集中饲料学[6-7]、盐碱地修复[8-11]和生物学[18-19],本文研究了中性盐和碱性盐对盐爪爪种子萌发和幼苗生长的影响。盐胁迫对盐生植物种子的萌发和幼苗生长具有明显的抑制作用,主要表现为降低盐爪爪种子的萌发率,推迟种子萌发的时间,延长种子的萌发时间,抑制幼苗芽和根生长等,这与报道的大多数试验结果相似[20-22]。盐爪爪种子萌发仅在NaCl处理中表现出低浓度促进、高浓度抑制的特点。在0~200 mmol·L⁻¹盐浓度范围内,盐爪爪萌发率仍超过80%,盐爪爪种子萌发时的耐盐临界值为325 mmol·L⁻¹,极限值为671 mmol·L⁻¹,高于其他盐生植物如刚毛柽柳(*Tamarix hispida*)、黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)、罗布麻(*Apocynum venetum*)等[20-22]。

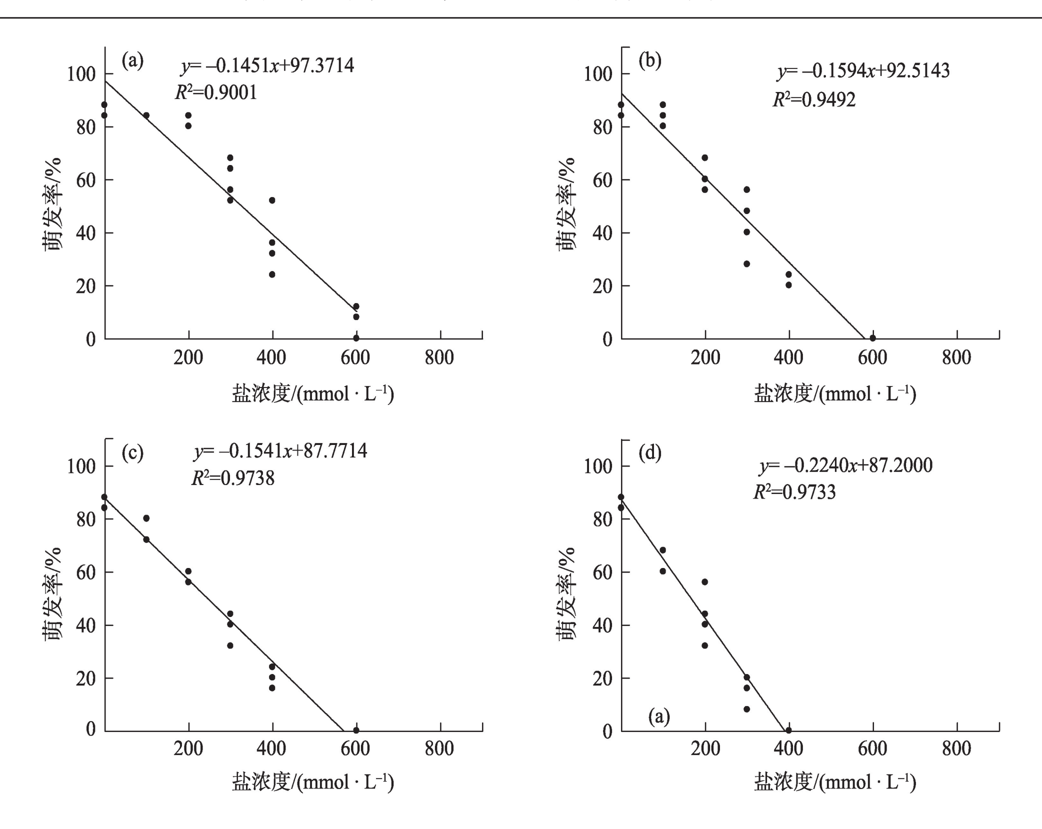


图2　盐爪爪萌发率与NaCl、Na_2SO_4、$NaHCO_3$、Na_2CO_3浓度之间的回归分析

Fig. 2　Relationship between germination percentages of *Kalidium foliatum* seeds and concentrations of NaCl, Na_2SO_4, $NaHCO_3$, Na_2CO_3

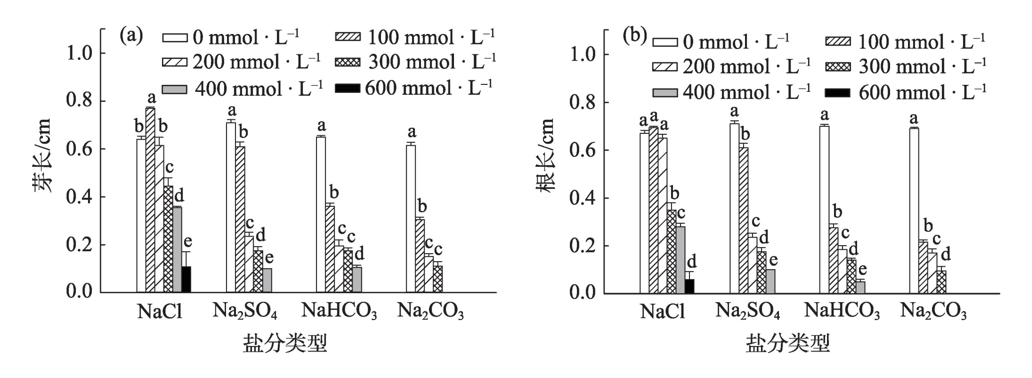


图3　NaCl、Na_2SO_4、$NaHCO_3$、Na_2CO_3对盐爪爪幼苗芽长和根长的影响

Fig. 3　Effects of NaCl, Na_2SO_4, $NaHCO_3$, Na_2CO_3 on shoot and root lengths of *Kalidium foliatum* young seedlings

盐爪爪种子萌发和幼苗生长对4种盐胁迫响应呈现出显著的差异，且碱性盐毒害强于中性盐。本研究结果表明：盐爪爪的萌发率均随着盐分浓度增加而降低，且相同浓度下不同类型盐分对种子萌发的抑制程度依次为：NaCl < Na_2SO_4 < $NaHCO_3$ < Na_2CO_3，表明除了Na^+的毒害对盐爪爪种子的萌发和幼苗生长有抑制作用之外，同样碱性盐的高pH也会抑制种子萌发和幼苗生长，这与其他植物如黑果枸杞（*L.ruthenicum*）、多花黑麦草（*Lolium multiflorum*）和长穗偃麦草（*Elytrigia elongate*）的抑制作用相似[19,23-24]，碱性盐的高pH对植物种子萌发和幼苗生长的毒害作用明显高于盐离子引起的毒害作用[23-25]。萌发指数作为衡量种子品质的重要指标之一，常常认为萌发指数越高的种子，播种后期发芽越整齐，盐爪爪的萌发指数对不同浓度和盐分类型的响应差异显著，这表明了不同浓度和盐分类型均延迟了盐爪爪种子出苗时间，表现为盐分浓度越高，其出苗越不整齐，碱性盐处理下的出苗整齐度显著低于中性盐处理下的。

由于植物种类的不同，不同组织和器官对盐胁迫的响应也不同。有些植物比较幼嫩时地上部分对盐胁迫的响应比根系反应的更为敏感，但有的植

物根系相对比较幼嫩时地上部分对盐分更敏感。在不同盐分类型和不同浓度盐分处理下盐爪爪幼苗根长的下降程度均显著高于芽的下降，本研究结果更符合根系在相对比幼嫩时地上部分对盐分更敏感。这可能由于盐爪爪作为典型的真盐生植物，其生长发育过程要吸收积累大量盐分离子储存在液泡中，从而保持细胞液中正常的渗透势，进而减缓盐分引起的幼苗子叶的危害[9,11-12]。因此，相对于芽长和萌发率，根长更能反应出盐爪爪萌发时的耐盐碱能力。

4 结 论

盐爪爪种子萌发时表现出较高的耐盐碱能力，特别是耐200 mmol·L^{-1} NaCl；盐爪爪对4种盐胁迫响应呈现出显著的差异，中性盐毒害弱于碱性盐的毒害；根长更适合作为评价盐爪爪耐盐碱性的指标；因此，盐爪爪幼苗能正常生长的盐含量为200 mmol·L^{-1} NaCl的盐碱地。

参考文献(Reference)：

[1] 张建锋, 张旭东, 周金星, 等. 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施[J]. 水土保持研究, 2005, 12(6): 28–30. [Zhang Jianfeng, Zhang Xudong, Zhou Jinxing, et al. World resources of saline soil and main amelioration measures[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12(6): 28–30.]

[2] 罗廷彬, 任崴, 谢春虹. 新疆盐碱地生物改良的必要性与可行性[J]. 干旱区研究, 2011, 18(1): 46–48. [Luo Tinbin, Ren Wei, Xie Chunhong. Necessity and feasibility of biotic improving this saline and alkaline land in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2011, 18(1): 46–48.]

[3] 祁通, 孙阳讯, 黄建, 等. 两种盐生植物在南北疆地区的适生性及吸盐能力[J]. 中国土壤与肥料, 2017, 54(1): 144–148. [Qi Tong, Sun Yangxun, Huang Jian, et al. The adaptability and salt absorption ability of two kinds of halophyte in southern and northern of Xinjiang[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2017, 54(1): 144–148.]

[4] 郭洋, 盛建东, 陈波浪, 等. 3种盐生植物干物质积累与养分吸收特征[J]. 干旱区研究, 2016, 33(1): 144–149. [Guo Yang, Sheng Jiandong, Chen Bolang, et al. Study on dry matter accumulation and nutriention absorption of three halophytes under artificial planting condition[J]. Arid Zone Research, 2016, 33(1): 144–149.]

[5] 郭嘉, 徐化凌, 张明乾, 等. 6种典型盐生植物生长对盐土养分的作用研究[J]. 林业资源管理, 2019, 48(3): 107–112. [Guo Jia, Xu Hualing, Zhang Mingqian, et al. Effects of six typical halophytes on salt soil nutrients[J]. Forest Resources Management, 2019, 48(3): 107–112.]

[6] 董雪, 辛智鸣, 段瑞兵, 等. 乌兰布和沙漠典型灌木群落多样性及其生态位[J]. 干旱区研究, 2020, 37(4): 1009–1017. [Dong Xue, Xin Zhiming, Duan Ruibing, et al. Species diversity of typical shrubs and niches of dominant shrub species in the Ulanbuh Desert[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(4): 1009–1017.]

[7] 刘敏, 杨东, 江华, 等. 内蒙古乌拉特荒漠草原植物营养价值研究[J]. 草原与草业, 2020, 32(3): 40–42. [Liu Min, Yang Dong, Jiang Hua, et al. Vegetative value of Urat desert step in Inner Mongolia[J]. Grassland and Prataculture, 2020, 32(3): 40–42.]

[8] 孙海群. 青海荒漠草地主要藜科牧草的生态地理特征及其饲用价值[J]. 草业科学, 1995, 12(5): 18–20, 23. [Sun Haiqun. The eco-geographical characteristics and forage value of the main Chenopodiaceae grass in desert grassland in Qinghai[J]. Pratacultural Science, 1995, 12(5): 18–20, 23.]

[9] 赵串串, 谢昕志, 侯文涛, 等. 柴达木盆地盐爪爪生理特性对盐胁迫的响应研究[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(3): 187–191. [Zhao Chuanchuan, Xie Xinzhi, Hou Wentao, et al. The physiological characteristics of *Kalidium foliatum* in response to the salt stress at Chaidamu Basin[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2018, 32(3): 187–191.]

[10] 赵可夫, 范海, 江行玉, 等. 盐生植物在盐渍土壤改良中的作用[J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(1): 31–35. [Zhao Kefu, Fan Hai, Jiang Xingyu, et al. Improvement and utilization of saline soil by planting halophytes[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2002, 8(1): 31–35.]

[11] 杨瑞瑞, 曾幼玲. 盐生植物盐爪爪的耐盐生理特性探讨[J]. 广西植物, 2015, 35(3): 366–372. [Yang Ruirui, Zeng Youling. Physiological characteristics of the halophytic plant *Kalidium foliatum* to salt stress[J]. Guihaia, 2015, 35(3): 366–372.]

[12] 高翱, 张芸香, 郭晋平. 沙漠植物盐爪爪(*Kalidium foliatum*)的耐盐碱性及其对碱性盐胁迫的响应[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2017, 37(4): 248–253, 275. [Gao Ao, Zhang Yunxiang, Guo Jinping. The saline-alkali resistance desert plant *Kalidium foliatum* and its response to concentration of alkaline salt stress[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2017, 37(4): 248–253, 275.]

[13] 曾幼玲, 蔡忠贞, 马纪, 等. 盐分和水分胁迫对两种盐生植物盐爪爪盐穗木种子萌发的影响[J]. 生态学杂志, 2006, 25(9): 1014–1018. [Zeng Youling, Cai Zhongzhen, Ma Ji, et al. Effects of salt and water stress on seed germination of halophytes *Kalidium foliatum* and *Halostachys caspica*[J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(9): 1014–1018.]

[14] 许燕, 徐先英, 种培芳, 等. 7种沙旱生植物的种子萌发及幼苗生长过程比较[J]. 中国农学通报, 2020, 36(19): 62–67. [Xu Yan, Xu Xianying, Chong Peifang, et al. Comparison of seed germination and seedling growth of 7 kinds of psammophytes and xerophytes[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(19): 62–67.]

[15] 马彦军, 祝小娟, 何瑞雪. 盐爪爪种子萌发期抗盐性研究[J]. 草地学报, 2019, 27(5): 1237–1242. [Ma Yanjun, Zhu Xiaojuan, He Ruixue. Study on salt resistance *Kalidium foliatum* seeds at germination stage[J]. Acta Agrestia Sinica, 2019, 27(5): 1237–1242.]

[16] 代莉慧, 蔡禄, 张鲁刚, 等. NaCl和Na_2CO_3胁迫对盐爪爪种子萌发过程中生理生化变化的研究[J]. 种子, 2011, 30(11): 53–55,

59. [Dai Lihui, Cai Lu, Zhang Lugang, et al. Study on the effect of NaCl and Na_2CO_3 stress on the physiological and biochemical changes of seed *Kalidium foliatum* during germination[J]. Seed, 2011, 30(11): 53−55, 59.]

[17] Li Li, Zhang Ximing. Effect of temperature and salinity on germination of two *Kalidium* species (Chenopodiaceae)[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2007, 13(3): 317−321.

[18] Wang Z G, Zhang P X, Shao Y T, et al. Molecular cloning and the expression pattern of a phospholipid hydroperoxide glutathione peroxidase in *Kalidium foliatum* under NaCl treatment[J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2020, 67(4): 750−757.

[19] Yao Manhong, Zeng Youling, Liu Lin, et al. Overexpression of the halophyte *Kalidium foliatum* H^+- pyrophosphatase gene confers salt and drought tolerance in *Arabidopsis thaliana*[J]. Molecular Biology Reports, 2012, 39: 7989−7996.

[20] 姬慧娟, 尹林克, 严成. 刚毛柽柳(*Tamarix hispida*)种子萌发特性的研究[J]. 生物技术, 2008, 18(6): 35−38. [Ji Huijuan, Yin Linke, Yan Cheng. Studies on germination characteristics of *Tamarix hispida* seeds[J]. Biotechnology, 2008, 18(6): 35−38.]

[21] 杨志江, 李进, 李淑珍, 等. 不同钠盐胁迫对黑果枸杞种子萌发的影响[J]. 种子, 2008, 27(9): 19−22. [Yang Zhijiang, Li Jin, Li Shuzhen, et al. Effect of different sodium salt stress on the seed germination of *Lycium ruthenicum* Murr. [J]. Seed, 2008, 27(9): 19−22.]

[22] 张秀玲, 李瑞利, 石福臣. 盐胁迫对罗布麻种子萌发的影响[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2007, 40(4): 13−18. [Zhang Xiuling, Li Ruili, Shi Fuchen. Effects of salt stress on the seed germination of *Apocynum venetum*[J]. Acta Scientiarum Natruralium Unversitatis Nankaiensis, 2007, 40(4): 13−18.]

[23] 汪霞, 马啸, 张新全, 等. 四种不同钠盐胁迫对多花黑麦草种子萌发的影响[J]. 中国草地学报, 2014, 36(4): 44−51. [Wang Xia, Ma Xiao, Zhang Xinquan, et al. Effects of four different sodium salt stress on seeds germination of annual ryegrass[J]. Chinese Journal of Grassland, 2014, 36(4): 44−51.]

[24] 徐曼, 王茜, 王奕骁, 等. 不同盐胁迫对长穗偃麦草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国草地学报, 2020, 42(1): 15−20. [Xu Man, Wang Qian, Wang Yixiao, et al. Effects of different salt stress on seed germination and seedling growth of *Elytrigia elongate*[J]. Chinese Journal of Grassland, 2020, 42(1): 15−20.]

[25] Hu H, Liu H, Liu F. Seed germination of hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars responds differently to the stress of salt type and concentration[J]. Industrial Crops and Products, 2018, 123: 254−261.

Effects of sodium salinity stress types on the germination of *Kalidium foliatum* seeds and its young seedling growth

LEI Chunying[1,2], JI Xiaomin[1,2], PENG Muzhi[1,2], JIANG Li[3]

(1. Institute of Afforestation and Sand Control, Xinjiang Academy of Forestry Sciences, Urumqi 830063, Xinjiang, China; 2. Jinghe Desert Ecosystem Research Station, Jinghe 833300, Xinjiang, China; 3. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract: The effects of different types of sodium salt stress on seed germination and seedling growth in the eremophyte *Kalidium foliatum* were studied by measuring the germination rate, germination index, bud length, and root length. In addition, the mechanism of seed germination and seedling growth when adapting to different types of saline alkali land was explored; this work provides insights into the development desert restoration and forage industry in arid areas through *K. foliatum* planting. Results showed that NaCl, Na_2SO_4, $NaHCO_3$, and Na_2CO_3 significantly inhibited the germination rate and germination index of *K. foliatum*. According to regression analysis, the critical values of NaCl, Na_2SO_4, $NaHCO_3$, and Na_2CO_3 were 325, 267, 245, and 166 $mmol \cdot L^{-1}$, respectively, whereas the limit values were 671, 580, 569, and 389 $mmol \cdot L^{-1}$, respectively. In addition, NaCl, Na_2SO_4, $NaHCO_3$, and Na_2CO_3 significantly inhibited the growth of *K. foliatum* shoots and roots. However, seed germination and seedling growth responses differed significantly according to the four sodium salt exposures. For example, the toxicity of alkaline salt was greater than that of neutral salt. In young seedlings, the shoots were more sensitive to salt exposure than were the roots. Furthermore, root length could be used as a parameter to evaluate the salt tolerance of *K. foliatum*. Finally, according to the degree of salt toxicity on seed germination and seedling growth, the toxicity to *K. foliatum* can be ranked as follows: $NaCl<Na_2SO_4<NaHCO_3<Na_2CO_3$.

Keywords: *Kalidium foliatum*; salinity stress; sodium; seed germination